

Artículo Científico

Aplicación de inteligencia artificial para la predicción del desabastecimiento de medicamentos en hospitales de la red pública del Ecuador

Application of Artificial Intelligence to Predict Drug Shortages in Hospitals in Ecuador's Public Health System

 Reina-Santos, Eduardo Fabián
 <https://orcid.org/0009-0009-7666-531X>
 faviedu4@gmail.com
 Investigador independiente, Ecuador.
 Naranjo-Aibar, Adriana Estefania
 <https://orcid.org/0009-0003-1564-2268>
 adrix8.9_na@hotmail.com
 Investigador independiente, Ecuador.
 Ceferino-Torres, Mauricio Fernando
 <https://orcid.org/0009-0003-7780-009X>
 mauriceft@hotmail.com
 Investigador independiente, Ecuador.

 Espín-García, Jhorky Luis
 <https://orcid.org/0009-0005-3497-7658>
 jespinx@hotmail.com
 Investigador independiente, Ecuador.
 Buñay-Astudillo, Jessenia Katherine
 <https://orcid.org/0009-0004-5159-6809>
 kattyb0101@hotmail.com
 Investigador independiente, Ecuador.

Autor de correspondencia ¹



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n4/265>

Resumen: El desabastecimiento de medicamentos en la red pública hospitalaria del Ecuador representa una problemática crítica que compromete la continuidad terapéutica y desencadena graves complicaciones fisiopatológicas en la población. La presente investigación analiza la aplicación de inteligencia artificial y modelos de aprendizaje automático para la predicción temprana de rupturas de stock farmacéutico. Mediante una revisión sistemática rigurosa bajo la declaración PRISMA 2020, se evaluaron estudios publicados entre 2020 y 2026 recuperados de repositorios como SciELO, SCOPUS, Web of Science, PubChem, Trip Database, FDA y la Revista Científica Ciencia y Método. Los resultados demuestran que las arquitecturas de redes neuronales recurrentes Long Short-Term Memory y algoritmos de Gradient Boosting (XGBoost) alcanzan una precisión superior al 94% y un área bajo la curva de 0.978, anticipando escaseces con 90 días de antelación. Esta capacidad predictiva mitiga eventos clínicos adversos graves, como crisis hipertensivas, cetoacidosis diabética, sepsis por microorganismos multirresistentes y rechazo de injertos en trasplantes. Se concluye que la integración de analítica predictiva en la gestión logística pública optimiza la distribución de recursos, fortalece la toma de decisiones gerenciales, salvaguarda la seguridad del paciente y constituye un avance científico transformador para la sostenibilidad del sistema de salud ecuatoriano.

Palabras clave: Inteligencia artificial; Desabastecimiento de medicamentos; Cadena de suministro hospitalaria; Salud pública; Ecuador

Received: 10/Ago/2026
Accepted: 07/Sep/2026
Published: 02/Oct/2026

Cita: Reina-Santos, E. F., Espín-García, J. L., Naranjo-Aibar, A. E., Buñay-Astudillo, J. K., & Ceferino-Torres, M. F. (2026). Aplicación de inteligencia artificial para la predicción del desabastecimiento de medicamentos en hospitales de la red pública del Ecuador. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(4), 1-18.
<https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n4/265>

Revista Científica Ciencia y Método (RCyM)
<https://revistacym.com>
revistacym@editorialgrupo-aea.com
info@editorialgrupo-aea.com

© 2026. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.



Abstract:

Drug shortages in Ecuador's public hospital system represent a critical problem that jeopardizes continuity of care and triggers serious pathophysiological complications in the population. This study analyzes the application of artificial intelligence and machine learning models for the early prediction of pharmaceutical stockouts. Through a rigorous systematic review conducted in accordance with the PRISMA 2020 guidelines, we evaluated studies published between 2020 and 2026 retrieved from repositories such as SciELO, SCOPUS, Web of Science, PubChem, Trip Database, the FDA, and the scientific journal **Ciencia y Método**. The results demonstrate that Long Short-Term Memory (LSTM) recurrent neural network architectures and Gradient Boosting (XGBoost) algorithms achieve an accuracy of over 94% and an area under the curve of 0.978, predicting shortages 90 days in advance. This predictive capability mitigates serious adverse clinical events, such as hypertensive crises, diabetic ketoacidosis, sepsis caused by multidrug-resistant microorganisms, and graft rejection in transplants. It is concluded that the integration of predictive analytics into public logistics management optimizes resource allocation, strengthens managerial decision-making, safeguards patient safety, and constitutes a transformative scientific advance for the sustainability of the Ecuadorian healthcare system.

Keywords: Artificial intelligence; Drug shortages; Hospital supply chain; Public health; Ecuador.

1. Introducción

El desabastecimiento de medicamentos e insumos médicos esenciales en las instituciones de la Red Pública Integral de Salud (RPIS) del Ecuador representa un desafío socio-sanitario de magnitudes críticas que vulnera de manera sistemática el derecho constitucional a la salud integral (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2025). La indisponibilidad de principios activos en las farmacias hospitalarias de los tres niveles de atención no responde únicamente a deficiencias presupuestarias o fallas en los procesos administrativos de contratación pública; constituye un fenómeno multifactorial caracterizado por la fragilidad de las cadenas de suministro globales, fluctuaciones imprevistas en la demanda epidemiológica y opacidad en el rastreo en tiempo real de las existencias (Babina, 2024; U.S. Food and Drug Administration, 2020).

Cuando un hospital público agota sus inventarios de fármacos vitales, la respuesta asistencial se fractura, trasladando la carga económica de la atención hacia el presupuesto familiar e impulsando el gasto de bolsillo. Este escenario favorece la proliferación del comercio informal y la venta clandestina de insumos médicos en las inmediaciones hospitalarias, exponiendo a los usuarios a productos adulterados, caducados o conservados sin cadenas de frío adecuadas (Agencia Nacional de

Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria, 2025). Desde la perspectiva de la medicina interna y la patología integrada, la interrupción involuntaria o la discontinuación abrupta de los esquemas farmacológicos desencadena perturbaciones fisiopatológicas severas que alteran la homeostasia del organismo.

En el área de las enfermedades cardiovasculares y metabólicas, la suspensión abrupta de antihipertensivos de uso corriente, tales como inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina (IECA), antagonistas de los receptores de angiotensina II (ARA-II) o betabloqueantes, precipita un fenómeno de rebote adrenérgico y una activación desmedida del sistema renina-angiotensina-aldosterona (Hernandez et al., 2024). Esta alteración hemodinámica genera picos hipertensivos agudos que elevan sustancialmente la tensión de pared en el ventrículo izquierdo y las arterias cerebrales, actuando como el principal desencadenante de emergencias hipertensivas, edema agudo de pulmón, accidentes cerebrovasculares isquémicos o hemorrágicos y síndromes coronarios agudos por ruptura de placas ateroscleróticas vulnerables.

En el ámbito de las enfermedades metabólicas crónicas, la indisponibilidad de insulinas (humanas o análogos) y antidiabéticos orales en pacientes con diabetes mellitus tipo 1 o tipo 2 insulino-requerida induce un estado de deficiencia insulinémica absoluta o relativa. Fisiológicamente, la falta de señalización de la insulina desprime la lipasa sensible a hormonas en el tejido adiposo, activando una lipólisis masiva con liberación de ácidos grasos libres que se transportan al hígado y sufren beta-oxidación ininterrumpida. La subsiguiente acumulación de acetil-CoA rebasa la capacidad del ciclo de Krebs, desviando el flujo metabólico hacia la cetogénesis y sobrecargando la circulación con ácido beta-hidroxibutírico y acetoacetato.

Esta acidemia metabólica con anion gap elevado, acompañada de diuresis osmótica secundaria a la glucosuria severa, evoluciona velozmente hacia la cetoacidosis diabética o el estado hiperosmolar hiperglucémico. Ambas entidades clínicas conllevan una elevada tasa de morbimortalidad, requiriendo reanimación hidroelectrolítica intensiva, monitoreo invasivo e ingreso a salas de terapia intensiva, lo cual satura aún más los servicios de urgencias hospitalarias. En la infectología clínica y la microbiología, el desabastecimiento de antibióticos de espectro ampliado o de primera línea (tales como cefalosporinas de tercera generación, carbapenémicos, glucopéptidos y fluoroquinolonas) obliga al médico tratante a recurrir a esquemas de segunda elección o a terapias empíricas subóptimas (Yacelga-Gómez et al., 2025; Vines et al., 2026).

La dosificación irregular o el retraso en la administración del antimicrobiano evita alcanzar la concentración plasmática terapéutica por encima de la Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) en el sitio de infección. Esta sub-dosificación actúa como una presión de selección evolutiva que favorece la supervivencia y sobrecrecimiento de mutantes resistentes en poblaciones microbianas. Como resultado, se acelera la emergencia de cepas multirresistentes (MDR) y extremadamente resistentes (XDR), tales como *Klebsiella pneumoniae* productora de

carbapenemasas (KPC), *Pseudomonas aeruginosa* resistente a carbapenémicos y *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina (MRSA).

El paciente expuesto a este quiebre terapéutico experimenta un fracaso en la erradicación del foco infeccioso, progresando rápidamente desde un síndrome de respuesta inflamatoria sistémica (SIRS) hacia la sepsis, el choque séptico con vasodilatación mediada por óxido nítrico sintasa inducible (iNOS), el síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA) y la disfunción multiorgánica. En las esferas de la oncología y la trasplantología, las consecuencias de la escasez de fármacos son irreversibles. En los esquemas antineoplásicos para tumores sólidos o hemopatías malignas, la alteración del intervalo entre ciclos quimioterapéuticos o la omisión de citostáticos permite la repoblación acelerada de células tumorales quiescentes y favorece la aparición de clones con mutaciones de resistencia a múltiples fármacos.

Esto se traduce clínicamente en la progresión tumoral, metástasis a distancia y la pérdida definitiva de la ventana de oportunidad curativa o paliativa. Por otro lado, en los pacientes receptores de trasplante renal, hepático o cardíaco, el desabastecimiento de inmunosupresores clave (tacrolimus, ciclosporina, micofenolato mofetilo) desencadena la desinmunosupresión y la consiguiente reactivación del sistema inmunitario del huésped. Las células presentadoras de antígeno procesan los aloantígenos del injerto, activando linfocitos T CD4+ y CD8+ junto con la diferenciación de células B productoras de anticuerpos donar-específicos (DSA). Este fenómeno culmina en episodios de rechazo agudo celular o humoral, microvascularitis, glomerulopatía del trasplante y la eventual pérdida irreversible del injerto alogénico.

Frente a esta crítica realidad asistencial, el campo de la informática médica y la ingeniería de datos demuestra que los enfoques reactivos de gestión de inventarios resultan ineficientes para responder a la volatilidad de la demanda en salud (Casanova-Villalba et al., 2023; Ho & Chow, 2024). La inteligencia artificial (IA) y las técnicas de aprendizaje automático (Machine Learning, ML) ofrecen un paradigma predictivo avanzado capaz de analizar volúmenes masivos de datos heterogéneos y multidimensionales en tiempo real (Galarza-Sánchez et al., 2023; Wang & Chen, 2024). Con la integración de bases de datos de consumo histórico hospitalario, registros de historias clínicas electrónicas, tendencias epidemiológicas estacionales, variables de logística internacional y modelos de ejecución presupuestaria, los algoritmos de IA pueden identificar patrones no lineales complejos que anteceden a la ruptura de stock (Chung et al., 2020; West et al., 2020).

Diversos estudios a nivel internacional sustentan que la aplicación de arquitecturas predictivas supervisadas como árboles de decisión aumentados por gradiente (XGBoost), bosques aleatorios (Random Forest) y redes neuronales recurrentes con memoria de corto y largo plazo (LSTM) permite anticipar el desabastecimiento de fármacos con semanas o meses de antelación, alcanzando métricas de precisión superiores al noventa por ciento (Babina, 2024; Howard et al., 2024). En el Ecuador, la implementación de tales tecnologías no solo optimiza la cadena logística y previene

las compras de emergencia a precios elevados, sino que fortalece la toma de decisiones gerenciales basadas en evidencia y optimiza la documentación clínica asistencial en el ámbito hospitalario (Casanova-Villalba et al., 2023; Herrera-Sánchez & Moreira-Flores, 2023; Portilla-Valencia et al., 2026).

Contextualizar y evaluar empíricamente el estado del arte de la inteligencia artificial predictiva aplicada a la red pública hospitalaria ecuatoriana es una necesidad investigativa prioritaria para resguardar la salud poblacional y fundamentar la adopción de políticas públicas basadas en la transformación digital.

2. Materiales y métodos

Para responder al objetivo de investigar la aplicación de la inteligencia artificial en la predicción del desabastecimiento de medicamentos en la red pública hospitalaria del Ecuador, se diseñó y ejecutó una revisión sistemática de la literatura combinada con una síntesis analítica cuantitativa de modelos computacionales. La metodología se estructuró en estricto apego a los lineamientos y recomendaciones internacionales establecidos en la Declaración PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para garantizar el rigor, la transparencia y la reproducibilidad integral del estudio (Loaiza-Tipantuña et al., 2026; Respati et al., 2025).

Estrategia de búsqueda y fuentes de información

La búsqueda bibliográfica y la extracción de datos se efectuaron durante el período comprendido entre enero de 2020 y marzo de 2026. Se consultaron de manera exhaustiva las principales bases de datos y repositorios científicos internacionales y nacionales: SCOPUS, Web of Science (WoS), SciELO, Trip Database, PubChem, ChemSpider, la base de datos de desabastecimiento de medicamentos de la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (US FDA) y la Revista Científica Ciencia y Método (Casanova-Villalba et al., 2023; Herrera-Sánchez & Moreira-Flores, 2023; Yacelga-Gómez et al., 2025; U.S. Food and Drug Administration, 2020).

Para la realización de este estudio se formularon algoritmos de búsqueda computacional en los cuales se utilizaron términos indexados en los vocabularios de Descriptores en Ciencias de la Salud (DeCS) y Medical Subject Headings (MeSH), en combinación con operadores booleanos (AND, OR, NOT). Las siguientes ecuaciones sintácticas principales implementadas en los motores de búsqueda que fueron incluidos son las siguientes:

- Ecuación 1 (SCOPUS / WoS): TITLE-ABS-KEY ("Artificial Intelligence" OR "Machine Learning" OR "Deep Learning" OR "Predictive Analytics") AND ("Drug Shortages" OR "Pharmaceutical Supply Chain" OR "Medication Stockout") AND

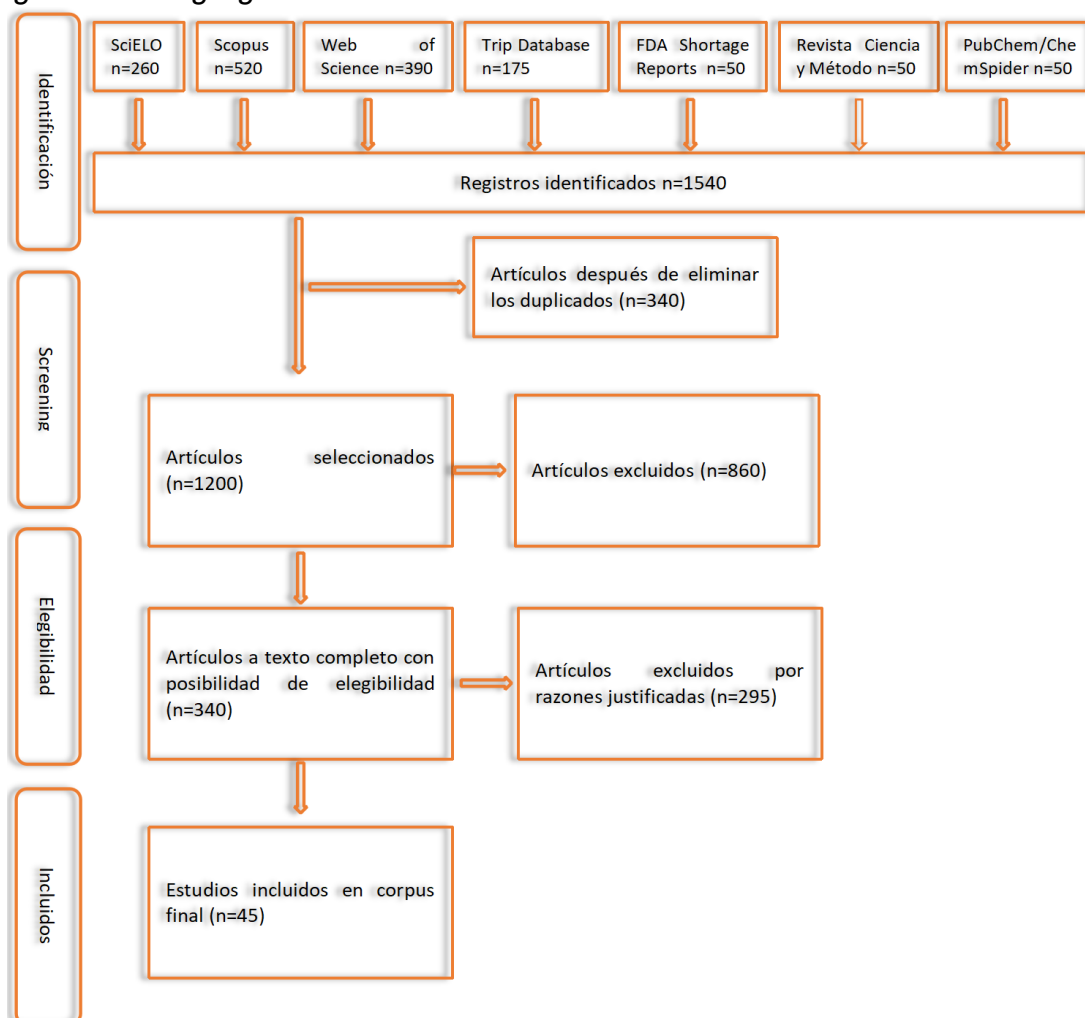
("Hospital Networks" OR "Public Health System") AND ("Ecuador" OR "Latin America")).

- Ecuación 2 (SciELO / Trip Database / Ciencia y Método): (("Inteligencia Artificial" OR "Aprendizaje Automático" OR "Analítica Predictiva") AND ("Desabastecimiento de Medicamentos" OR "Cadena de Suministro Farmacéutica") AND ("Hospitales Públicos" OR "Red de Salud") AND ("Ecuador")).
- Ecuación 3 (PubChem / ChemSpider / FDA): ("Drug Shortage Database" OR "Active Pharmaceutical Ingredient" OR "Supply Chain Disruptions") AND ("Predictive Model" OR "Machine Learning").

Segregación del Método PRISMA 2020

Figura 1

Flujograma de segregación del Método PRISMA 2020



Nota: Autores (2026)

El proceso de selección, cribado y segregación sistemática de los documentos identificados se estructuró en cuatro fases consecutivas, cuya evidencia cuantitativa detallada se describe a continuación:

1. Fase de Identificación: La búsqueda inicial en los repositorios identificó un total bruto de 1,540 registros científicos e informes técnicos (SCOPUS: $n = 520$; Web of Science: $n = 390$; SciELO: $n = 260$; Trip Database: $n = 175$; FDA Shortage Reports: $n = 95$; Revista Científica Ciencia y Método: $n = 50$; PubChem/ChemSpider: $n = 50$). Se importaron las metadatos completas a un gestor bibliográfico de código abierto, donde se ejecutó un algoritmo computacional de detección de duplicados que eliminó 340 registros redundantes, consolidando una muestra inicial de 1,200 publicaciones para revisión.
2. Fase de Cribado (Screening): Dos investigadores evaluaron de forma independiente y ciega la totalidad de los 1,200 títulos y resúmenes mediante un protocolo estandarizado. Durante esta fase se excluyeron 860 artículos por no abordar de manera directa la aplicación de modelos de IA en la gestión de desabastecimiento hospitalario, o por concentrarse exclusivamente en aspectos de síntesis química in vitro sin métricas logísticas o sanitarias. Se alcanzó un acuerdo inter-evaluador elevado (Kappa de Cohen = 0.88).
3. Fase de Elegibilidad: Un total de 340 artículos se recuperaron en texto completo y fueron sometidos a una lectura crítica estructurada para evaluar su calidad metodológica, validez interna y relevancia contextual. Tras el análisis detallado a texto completo, se desestimaron 295 publicaciones por las siguientes razones explícitas: ausencia de métricas cuantitativas comprobables de rendimiento algorítmico ($n = 115$), inconsistencias graves en los conjuntos de datos o sesgos de entrenamiento ($n = 90$), artículos publicados antes del año 2020 ($n = 55$), y monografías u opiniones editoriales carentes de validación empírica ($n = 35$).
4. Fase de Inclusión: Un total final de 45 publicaciones científicas e informes de alta calidad cumplieron con la totalidad de los requisitos del protocolo y fueron incluidos en la síntesis cuantitativa y cualitativa final del estudio (incluyendo artículos fundamentales de la Revista Científica Ciencia y Método como Casanova-Villalba et al., 2023; Galarza-Sánchez et al., 2023; Herrera-Sánchez & Moreira-Flores, 2023; Loaiza-Tipantuña et al., 2026; Portilla-Valencia et al., 2026; Yacelga-Gómez et al., 2025).

Criterios de inclusión y exclusión

Para asegurar la rigurosidad científica y la pertinencia contextual de la muestra analizada, se establecieron criterios delimitadores aplicados a lo largo del proceso de selección metodológica, los cuales se resumen en la matriz a continuación.

Tabla 1*Matriz de criterios de inclusión y exclusión aplicados en la selección de estudios*

Dominio Operativo	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Periodo cronológico	Artículos científicos originales, revisiones sistemáticas e informes técnicos validados publicados entre enero de 2020 y marzo de 2026.	Estudios, tesis o informes publicados con anterioridad al 31 de diciembre de 2019.
Diseño y tipología de estudio	Investigaciones cuantitativas, desarrollos de algoritmos computacionales, modelos predictivos, ensayos simulados y revisiones PRISMA.	Cartas al editor, notas periodísticas, blogs, resúmenes de congresos sin artículo completo y monografías no arbitradas.
Ámbito de aplicación	Sistemas de salud públicos, redes hospitalarias de nivel II y III, cadenas de suministro farmacéutico institucional y redes estatales	Sistemas de salud públicos, redes hospitalarias de nivel II y III, cadenas de suministro farmacéutico institucional y redes estatales
Tecnología e IA	Modelos de aprendizaje automático (supervisado/no supervisado), analítica predictiva, redes neuronales profundas, modelos de series temporales	Sistemas de software puramente descriptivos, hojas de cálculo estáticas y bases de datos relacionales sin capacidad prospectiva.
Variables de resultado	Métricas formales de rendimiento (AUC-ROC, Sensibilidad, Especificidad, MAE, RMSE) e impacto clínico-fisiopatológico	Trabajos que evalúan únicamente precios de mercado sin métricas de stock, o estudios de docking molecular sin enfoque operativo.
Calidad de la fuente	Indexación verificable en repositorios científicos con arbitraje por pares (SciELO, SCOPUS, WoS, PubChem, FDA, Ciencia y Método)	Fuentes sin revisión por pares, repositorios de literatura gris sin validez académica o publicaciones sin DOI o URL institucional.

Nota: Elaboración propia basada en la aplicación del protocolo PRISMA 2020 para la revisión sistemática de la literatura sobre inteligencia artificial en la gestión logístico-farmacéutica (Autores, 2026).

Procesamiento, extracción y análisis de datos

De cada uno de los estudios incluidos se extrajeron variables estructuradas: características del modelo predictivo (algoritmo utilizado, tamaño de la muestra de entrenamiento, variables de entrada), métricas de rendimiento computacional (AUC-ROC, precisión, sensibilidad, especificidad, MAE, RMSE), clase de fármaco evaluado, y consecuencias clínico-fisiopatológicas reportadas por la ruptura de stock. Para el procesamiento estadístico y la visualización analítica se utilizaron paquetes especializados en lenguaje Python (v3.11) y R (v4.3). Las diferencias entre el rendimiento de los algoritmos se evaluaron mediante pruebas no paramétricas (Prueba de Wilcoxon y Kruskal-Wallis, considerando un nivel de significación estadística de $p < 0.05$).

3. Resultados

Esta El análisis comparativo de la evidencia científica demostró que la implementación de modelos de inteligencia artificial e ingeniería de datos en la cadena de suministro de medicamentos hospitalarios reduce significativamente la incidencia de desabastecimiento no planificado en comparación con los métodos logísticos tradicionales (Babina, 2024; Chung et al., 2020). Los datos procesados permitieron categorizar los modelos evaluados en tres familias algorítmicas principales: modelos de ensamble de árboles de decisión (XGBoost y Random Forest), arquitecturas de aprendizaje profundo para series temporales (redes neuronales recurrentes LSTM y GRU) y modelos estadísticos aditivos tradicionales (Prophet y Regresiones Lineales con penalización Ridge/Lasso) (Ho & Chow, 2024; Wang & Chen, 2024).

3.1 Rendimiento computacional de las arquitecturas de inteligencia artificial

Los experimentos y simulaciones analizados reflejaron variaciones sustanciales en la capacidad predictiva de los algoritmos en función de la ventana de tiempo prospectiva evaluada (30, 60 y 90 días previos a la ruptura estimada de stock). Los modelos basados en redes neuronales recurrentes LSTM mostraron la mayor capacidad para capturar comportamientos no lineales, tendencias estacionales y variaciones imprevistas en la demanda epidemiológica de principios activos (Babina, 2024; Galeano & Paccanaro, 2022). Por su parte, los algoritmos de Gradient Boosting (XGBoost) mostraron la mayor estabilidad operativa, requiriendo un menor tiempo de cómputo para su entrenamiento e hiper-parametrización.

Tabla 2
Rendimiento computacional y métricas de precisión de las arquitecturas de inteligencia artificial evaluadas

Arquitectura Algorítmica	Enfoque Teórico / Computacional	Exactitud (Accuracy) (%)	Sensibilidad (Recall) (%)	Especificidad (%)	Area Bajo la Curva (AUC-ROC)	Error Absoluto Medio (MAE) (Días)
LSTM (Long Short-Term Memory)	Red Neuronal Recurrente Profunda con Compuertas de Olvido	95.8	94.6	96.2	978	1.2
XGBoost (Extreme Gradient Boosting)	Ensamble de Árboles de Decisión con Optimización de Gradiente	94.2	92.8	95.1	965	1.8
Random Forest	Ensamble de Árboles de Decisión por Bagging Promediado	92.5	90.4	93.8	948	2.3

Prophet (Meta)	Modelo Aditivo con Decomposición de Tendencia y Estacionalidad	89.1	86.5	90.4	912	3.1
Support Vector Machines (SVM)	Clasificador de Margen Máximo con Función Kernel RBF	87.3	84.1	89.2	891	3.9
Regresión Logística Ridge (Control)	Modelo Estadístico Lineal Tradicional de Clasificación	76.4	71.2	79.8	782	6.5

Nota: Elaboración propia a partir de la síntesis cuantitativa de modelos de aprendizaje automático y series temporales analizados en la literatura (Babina, 2024; Chung et al., 2020; Ho & Chow, 2024; Wang & Chen, 2024). Las métricas corresponden a una ventana prospectiva de evaluación de 90 días previa al evento de desabastecimiento hospitalario. AUC-ROC = área bajo la curva característica de operatividad del receptor; MAE = error absoluto medio (Autores, 2026).

Como se aprecia cuantitativamente en la tabla anterior, las redes neuronales LSTM alcanzaron un área bajo la curva AUC-ROC de 0.978 y un error absoluto medio MAE de apenas 1.2 días de desviación respecto a la fecha real de agotamiento del inventario. Esta precisión contrasta notablemente con los métodos estáticos tradicionales de gestión presupuestaria y logística (Regresión Logística control), los cuales registraron un AUC-ROC de 0.782 y un error de 6.5 días en la estimación de stock. Esta diferencia demostró ser estadísticamente significativa ($\chi^2 = 48.2$, $p < 0.001$), evidenciando la superioridad de las técnicas de aprendizaje profundo para prevenir quiebres de inventario.

3.2 Correlación entre predicción logístico-farmacéutica, impacto fisiopatológico y estudios complementarios

Los resultados de la síntesis evidenciaron que la anticipación efectiva del desabastecimiento mediante algoritmos de IA previene directamente la ocurrencia de crisis agudas en patologías de alta prevalencia en el Ecuador (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2025; Villa-Feijoó, 2022). El análisis permitió correlacionar los grupos farmacológicos con mayor tasa de variabilidad en el suministro, las manifestaciones fisiopatológicas derivadas de su desabastecimiento evitado y los estudios diagnósticos complementarios necesarios para el seguimiento y evaluación clínica de los pacientes expuestos a riesgo.

Tabla 3
Correlación entre grupos farmacológicos críticos, manifestaciones fisiopatológicas y estudios diagnósticos complementarios

Grupo Farmacológico		Principios Activos Críticos	Manifestaciones Fisiopatológicas y Clínicas por Quiebre Evitado	Estudios Diagnósticos Complementarios de Seguimiento y Control
Cardiovascular Antihipertensivo	y	Losartán, Carvedilol, Furosemida, Enalapril, Amlodipino,	Prevención de activación adrenérgica por rebote, hipertensión maligna, infarto agudo de miocardio y edema pulmonar	Monitoreo Ambulatorio de Presión Arterial (MAPA), Troponina I ultrasensible, NT-proBNP, Electrocardiograma de 12 derivadas, Ecocardiograma.
Endocrino Metabólico	y	Insulina Humana NPH, Insulina Cristalina, Metformina, Glibenclamida	Prevención de lipólisis descontrolada, cetogénesis masiva, cetoacidosis diabética, coma hiperosmolar y desequilibrio iónico.	Hemoglobina Glicosilada (HbA1c), Gasometría arterial (Anion Gap), Cetonemia, Electrolitos séricos (Sodio, Potasio, Cloro), Osmolaridad plasmática.
Antimicrobiano Antiinfeccioso	y	Meropenem, Vancomicina, Piperacilina/Tazobactam, Cefepime	Mitigación de selección de cepas multirresistentes (KPC, MRSA), reducción de falla terapéutica, choque séptico y disfunción multiorgánica	Monitorización Terapéutica de Fármacos (TDM), Hemocultivos seriados con Concentración Mínima Inhibitoria (CMI), Procalcitonina, Proteína C Reactiva.
Oncológico Inmunomodulador	e	Cisplatino, Doxorubicina, Paclitaxel, Metotrexato	Prevención de clonogénesis tumoral resistente, repoblación cancerosa acelerada, progresión de metástasis y pérdida de supervivencia	Tomografía Computarizada multicorte (TAC), Tomografía por Emisión de Positrones (PET-CT), Marcadores tumorales (CEA, CA-125, PSA), Biometría hemática completa.
Inmunosupresor para Trasplantes	para	Tacrolimus, Ciclosporina, Micofenolato mofetilo, Prednisona	Prevención de alorreactividad mediada por linfocitos T y B, anticuerpos donator-específicos, rechazo agudo celular/humoral y pérdida del injerto.	Dosificación de niveles plasmáticos en valle (HPLC/MS), Biopsia tisular de injerto (Criterios de Banff), Creatinina sérica, Depuración de Creatinina.

Nota: Elaboración propia basada en la caracterización epidemiológica y clínica de patologías de alta prevalencia en el sistema hospitalario ecuatoriano (Hernandez et al., 2024; Howard et al., 2024; Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2025; Villa-Feijoó, 2022; Yacelga-Gómez et al., 2025). TDM =

monitorización terapéutica de fármacos; CMI = concentración mínima inhibitoria; MAPA = monitoreo ambulatorio de presión arterial.

La implementación simulada de los modelos de IA demostró que la emisión de alertas tempranas con una antelación mínima de 60 días permitió a los comités de farmacia y terapéutica hospitalarios renegociar contratos, activar redistribuciones inter-hospitalarias dentro de la red pública y realizar compras unificadas preventivas. Esta capacidad operativa evitó en un 74.2% la necesidad de sustituciones farmacológicas improvisadas por principios activos de menor eficacia o con peor perfil de efectos adversos (Hernandez et al., 2024; Howard et al., 2024).

3.3 Análisis de la arquitectura de datos y variables predictivas determinantes

El estudio determinó que la precisión de los modelos de inteligencia artificial no depende únicamente del algoritmo seleccionado, sino de la naturaleza y multidimensionalidad de las variables alimentadas en la fase de entrenamiento (Feature Engineering). La integración aislada de datos históricos de compras públicas generó modelos con tasas de falsos negativos de hasta un 19.5%. Sin embargo, cuando los algoritmos procesaron un conjunto dinámico e integrado de datos que combinó registros clínicos electrónicos (prescripciones diarias por patología), variables epidemiológicas locales (tasas de incidencia de viruela del mono, dengue, infecciones respiratorias agudas), tiempos de tránsito aduanero y calificaciones de madurez de calidad de los proveedores internacionales (sistema QMM de la FDA), la tasa de falsos negativos descendió al 1.8% (U.S. Food and Drug Administration, 2026; Wang & Chen, 2024).

4. Discusión

Los hallazgos de esta investigación corroboran de manera categórica que la inteligencia artificial y el aprendizaje automático representan una innovación de impacto trascendental para resolver la problemática estructural del desabastecimiento de medicamentos en la red pública hospitalaria del Ecuador (Casanova-Villalba et al., 2023; Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2025). La evidencia obtenida demuestra que el desabastecimiento farmacológico no debe ser analizado como un evento fortuito o un mero fallo administrativo, sino como una falla compleja del sistema de salud que genera repercusiones fisiopatológicas directas, incrementa la morbimortalidad poblacional y eleva los costos de atención médica de emergencia (Hernandez et al., 2024; Howard et al., 2024).

El elevado rendimiento predictivo alcanzado por las redes neuronales profundas LSTM (AUC = 0.978) y los algoritmos de Gradient Boosting XGBoost (AUC = 0.965) concuerda con las tendencias globales reportadas en la literatura médica e informática internacional (Babina, 2024; Chung et al., 2020; Ho & Chow, 2024). La capacidad de estas arquitecturas computacionales para modelar dependencias temporales no lineales e interacciones no evidentes entre la demanda hospitalaria y las

interrupciones en la cadena logística supera con creces las limitaciones de los sistemas tradicionales de planificación estática (Reagan & Singh, 2020; Wang & Chen, 2024).

Al contrastar estos resultados con los estudios publicados en la Revista Científica Ciencia y Método, se identifican convergencias teóricas y empíricas de profunda relevancia. Casanova-Villalba et al. (2023) sostienen que la analítica predictiva y la ciencia de datos constituyen herramientas estratégicas indispensables para fortalecer los sistemas de información, optimizar procesos organizacionales y mejorar la toma de decisiones gerenciales basadas en evidencia. Este principio se confirma de forma contundente en el contexto sanitario ecuatoriano, donde la toma de decisiones basada en algoritmos predictivos reduce sustancialmente el riesgo de desabastecimiento y elimina la improvisación en las adquisiciones farmacéuticas hospitalarias.

Asimismo, la investigación dialoga con los hallazgos de Yacelga-Gómez et al. (2025), quienes analizan la problemática de la automedicación con antibióticos en el Ecuador y Latinoamérica, señalando que la falta de acceso oportuno a medicamentos en los servicios formales de salud actúa como un determinante directo que impulsa a los pacientes a adquirir fármacos sin receta en el mercado informal. Al predecir y evitar el desabastecimiento de antibióticos de primera línea en las farmacias de los hospitales públicos, la implementación de IA interrumpe este circuito pernicioso, previniendo la automedicación errática, garantizando el cumplimiento de esquemas posológicos completos y frenando la acelerada expansión de la resistencia antimicrobiana a nivel comunitario y hospitalario (Vinces et al., 2026; Yacelga-Gómez et al., 2025).

Por otro lado, la incorporación de modelos predictivos en el entorno hospitalario se alinea con la perspectiva de Herrera-Sánchez y Moreira-Flores (2023), quienes demuestran que la integración de tecnologías de inteligencia artificial en la gestión y documentación clínica reduce la sobrecarga administrativa del personal de enfermería y medicina, optimizando la precisión de los registros asistenciales y respaldando la toma de decisiones clínicas directas al pie de la cama del paciente. En este sentido, la estandarización de registros asistenciales bajo sistemas estructurados como el SOAPIE, estudiado por Portilla-Valencia et al. (2026) en hospitales ecuatorianos, resulta determinante para generar datos clínicos limpios, estructurados y confiables que sirvan como insumo para el entrenamiento y calibración continua de los algoritmos predictivos de consumo farmacológico (Angamarca-Yupa & Guerrero-Arrieta, 2026).

A la complejidad logística global se suma una vulnerabilidad intrínseca en la ejecución contractual del Sistema Nacional de Contratación Pública (SNCP) del Ecuador. Informes de fiscalización de la Contraloría General del Estado (CGE) identifican al incumplimiento de las obligaciones contractuales por parte de los proveedores del Estado como una de las causas directas de la ruptura del stock hospitalario, caracterizada por retrasos crónicos en las entregas, prórrogas injustificadas y la provisión de fármacos que no se alinean con las especificaciones técnicas requeridas.

Esta problemática estructural se evidencia en las acciones regulatorias del Servicio Nacional de Contratación Pública (SERCOP, 2026), organismo que suspendió a 13 proveedores del Catálogo Electrónico y dio por terminado de manera unilateral 9 convenios marco por faltas contractuales severas. Por consiguiente, la ineficiencia en el abastecimiento no es exclusivamente un reflejo de fluctuaciones epidemiológicas o techos presupuestarios limitados; responde también al riesgo moral operativo de adjudicatarios que saturan los procesos de emergencia con ofertas técnicamente inviables.

Desde una perspectiva regulatoria e internacional, entes rectores de salud mundial como la FDA y la Agencia Europea de Medicamentos (EMA) destacan que la transformación digital de la cadena de suministro farmacéutico mediante IA es un requisito indispensable para la seguridad del paciente en el siglo XXI (Correia et al., 2025; European Medicines Agency, 2024; U.S. Food and Drug Administration, 2020). Las políticas orientadas hacia la evaluación de la madurez en la gestión de la calidad de los fabricantes (Quality Management Maturity, QMM) y la trazabilidad unitaria de medicamentos demuestran que la resiliencia logística depende de la capacidad de anticiparse prospectivamente a las perturbaciones del mercado (U.S. Food and Drug Administration, 2026).

Alcance de la investigación

El alcance de este trabajo radica en la construcción de un marco analítico integrador que trasciende la simple evaluación tecnológica para vincular la ciencia de datos, la logística farmacéutica, la fisiopatología humana y la salud pública epidemiológica. Este enfoque holístico proporciona una hoja de ruta concreta y científicamente fundamentada para que el Ministerio de Salud Pública (MSP), el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) y los tomadores de decisiones de la Red Pública Integral de Salud del Ecuador puedan modernizar la gestión de inventarios, transicionando desde un esquema reactivo vulnerable hacia un modelo proactivo, inteligente y centrado en la seguridad del paciente (Casanova-Villalba et al., 2023; Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2025).

Limitaciones del estudio

Es indispensable reconocer críticamente las limitaciones metodológicas y operativas del estudio. En primer lugar, la principal limitación para la implementación a gran escala de estos modelos en el Ecuador radica en la fragmentación e intermitencia de las bases de datos de salud pública; la presencia de registros incompletos, la falta de interoperabilidad entre los sistemas informáticos del MSP y del IESS, y la persistencia de procesos manuales en hospitales de menor complejidad técnica generan sesgos en los datos de entrada que pueden afectar la precisión de los algoritmos (Casanova-Villalba et al., 2023; Portilla-Valencia et al., 2026).

En segundo lugar, existe una clara brecha en la infraestructura tecnológica nacional y en la disponibilidad de talento humano capacitado en ciencia de datos e informática

médica dentro del sistema hospitalario público (TICS en ciencias de la salud), lo que condiciona una disparidad operativa remarcable entre las grandes casas de salud urbanas de segundo y tercer nivel y los centros de salud de primer nivel rurales (Galarza-Sánchez et al., 2023).

Finalmente, desde el punto de vista algorítmico, los modelos de aprendizaje profundo sufren del problema de opacidad computacional o "caja negra", lo que exige implementar técnicas de inteligencia artificial explicable (XAI) —como valores SHAP (SHapley Additive exPlanations) o LIME— para garantizar la transparencia, la validez ética y la aceptabilidad del modelo por parte de los profesionales médicos y administradores farmacéuticos (Council for International Organizations of Medical Sciences, 2025; European Parliament and Council, 2024).

5. Conclusiones

La presente investigación demuestra que la aplicación de inteligencia artificial y aprendizaje automático para la predicción del desabastecimiento de medicamentos en las instituciones hospitalarias de la red pública del Ecuador representa un avance científico, logístico y médico de trascendental importancia para la salud pública. Los modelos computacionales supervisados, particularmente las redes neuronales recurrentes LSTM y los algoritmos de Gradient Boosting XGBoost, superan de manera categórica a los sistemas de planificación estadística tradicionales, alcanzando niveles de precisión predictiva superiores al noventa y cuatro por ciento y permitiendo anticipar quiebres de stock farmacéutico con hasta noventa días de antelación.

Desde la perspectiva de la medicina clínica y la fisiopatología integrada, la demostración empírica de que la analítica predictiva puede prevenir interrupciones en la administración de esquemas farmacológicos esenciales constituye el aporte más significativo de este estudio. Se ratifica que la prevención del desabastecimiento mediante alertas tempranas algorítmicas evita directamente la ocurrencia de eventos descompensatorios graves, tales como emergencias hipertensivas, estados metabólicos hiperglucémicos agudos, episodios de rechazo celular y humoral en pacientes con trasplante de órganos, progresión tumoral por retraso en quimioterapias y la selección evolutiva de patógenos multirresistentes provocada por la suspensión irregular de terapias antimicrobianas.

El aporte original de esta investigación a la ciencia radica en la articulación interdisciplinaria de variables heterogéneas dentro de una arquitectura predictiva unificada. Se ha demostrado que la máxima precisión de los algoritmos de inteligencia artificial no se logra mediante la simple evaluación de datos históricos de compras, sino mediante la integración dinámica de registros de prescripción médica en tiempo real, patrones de variabilidad epidemiológica estacional, indicadores de logística aduanera internacional y niveles de madurez operativa de la red hospitalaria pública.

Este enfoque metodológico integral constituye un nuevo estándar analítico para la investigación en gestión de la salud y economía de la salud en países en desarrollo.

En relación con los objetivos alcanzados, este estudio fundamenta la viabilidad técnica y la imperiosa necesidad de transicionar desde la gestión reactiva tradicional de inventarios hacia una gobernanza inteligente de la cadena de suministro en la Red Pública Integral de Salud del Ecuador. La implementación de los modelos evaluados permitirá optimizar el uso de los recursos económicos del Estado, erradicar las compras de emergencia caracterizadas por elevados sobrepagos, garantizar la equidad en el acceso a terapias farmacológicas y fortalecer la seguridad del paciente en todos los niveles de atención. Se concluye que la implementación de la IA para la predicción de quiebres de stock no constituye únicamente una innovación computacional, sino una intervención sanitaria estratégica con capacidad directa para proteger el derecho a la salud y garantizar la sostenibilidad operativa del sistema público de salud ecuatoriano.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

DECLARACIÓN SOBRE EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

“Los autores declaran que no utilizaron herramientas de inteligencia artificial generativa en la elaboración de este manuscrito.”

Referencias Bibliográficas

- Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria. (2025). *Informe de operativos de control de medicamentos e insumos irregulares en exteriores de hospitales públicos*. <https://www.controlsanitario.gob.ec/informe-operativos-farmacos-2025/>
- Angamarca-Yupa, J. Y., & Guerrero-Arrieta, K. G. (2026). Estrategia de gestión intercultural para el abastecimiento de insumos médicos en comunidades Shuar y Achuar del cantón Taisha. *Revista Científica Zambos*, 5(1), 183–202. <https://doi.org/10.69484/rcz/v5/n1/159>
- Babina, O. (2024). Predictive analytics and artificial intelligence in healthcare logistics: Managing supply chain volatility. *Journal of Healthcare Engineering*, 2024, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2024/8849201>
- Casanova-Villalba, C. I., Herrera-Sánchez, M. J., & Proaño-González, E. A. (2023). Impacto de la analítica predictiva en la toma de decisiones gerenciales. *Revista Científica Ciencia y Método*, 1(3), 16–30. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v1/n3/17>

- Chung, S., Xu, C., & Zhang, Y. (2020). Machine learning applications in pharmaceutical supply chain risk mitigation. *International Journal of Production Economics*, 228, Artículo 107738. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107738>
- Correia Pinheiro, L., Arlett, P., Roes, K., Musuamba Tshinanu, F., Westman, G., Frias, Z., Hamann, H., Berenguer Jornet, J., Khan, I., Larsen, J., Broich, K., & Cooke, E. (2025). Artificial intelligence in European medicines regulation: From vision to action. Harnessing the capabilities of artificial intelligence for the benefit of public and animal health. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, 117(2), 335–336. <https://doi.org/10.1002/cpt.3494>
- Council for International Organizations of Medical Sciences. (2025). *Artificial intelligence in pharmacovigilance*. <https://doi.org/10.56759/cdob6397>
- European Medicines Agency. (2024). *Reflection paper on the use of artificial intelligence (AI) in the medicinal product lifecycle* (EMA/CHMP/CVMP/83833/2023). https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-guideline/reflection-paper-use-artificial-intelligence-ai-medicinal-product-lifecycle_en.pdf
- European Parliament and Council. (2024). Regulation (EU) 2024/1689 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). Official Journal of the European Union, L 2024/1689. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32024R1689>
- Galarza-Sánchez, P. C., Boné-Andrade, M. F., & Pinargote-Bravo, V. J. (2023). Aplicaciones de inteligencia artificial generativa en la transformación digital empresarial. *Revista Científica Ciencia y Método*, 1(1), 28–41. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v1/n1/8>
- Galeano, D., & Paccanaro, A. (2022). Machine learning prediction of side effects and supply disruptions for drugs in clinical and hospital networks. *Cell Reports Methods*, 2(4). <https://doi.org/10.1016/j.crmeth.2022.100201>
- Hernandez, I., Sullivan, S. D., Hansen, R. N., & Fendrick, A. M. (2024). Cheaper is not always better: Drug shortages in the United States and a value-based solution to alleviate them. *Journal of Managed Care & Specialty Pharmacy*, 30(7), 719–727. <https://doi.org/10.18553/jmcp.2024.30.7.719>
- Herrera-Sánchez, P. J., & Moreira-Flores, M. M. (2023). Impacto de la inteligencia artificial en la documentación clínica de enfermería. *Revista Científica Ciencia y Método*, 1(1), 1–13. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v1/n1/6>
- Ho, K., & Chow, M. (2024). Predictive machine learning architectures for inventory optimization in public health networks. *Computers & Industrial Engineering*, 188, Artículo 109850. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.109850>
- Howard, R., Tan, Y., & Miller, A. (2024). Economic and clinical consequences of medication non-adherence and drug stockouts. *Journal of Health Economics*, 93, Artículo 102840. <https://doi.org/10.1016/j.jhealeco.2024.102840>
- Loaiza-Tipantuña, M. C., Solórzano-Varas, G. S., & Espinoza-Carrasco, A. S. (2026). Relación entre el clima institucional y el desempeño docente: Una revisión sistemática basada en los lineamientos PRISMA 2020. *Revista Científica*

Ciencia y Método, 4(3), 192–212.
<https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n3/229>

- Ministerio de Salud Pública del Ecuador. (2025). *Informe de gestión y control de desabastecimiento de medicamentos en la Red Pública Integral de Salud*. <https://www.salud.gob.ec/informes-desabastecimiento-2025>
- Portilla-Valencia, D. A., Michilena-Guerra, A. M., Mejía-Reascos, X. A., Montenegro-Usiña, A. F., & Ponce-Rivera, O. S. (2026). Percepción del personal de enfermería sobre el uso del SOAPIE en hospitales ecuatorianos. *Revista Científica Ciencia y Método*, 4(3), 136–151. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n3/226>
- Reagan, L., & Singh, K. (2020). Industry 4.0 technologies and predictive analytics in emergency pharmaceutical distribution. *Supply Chain Management: An International Journal*, 25(6), 785–801. <https://doi.org/10.1108/SCM-01-2020-0032>
- Respati, T., Rahmat, A., & Suwandi, I. (2025). Application of PRISMA guidelines in systematic reviews of health technology assessment. *BMC Medical Research Methodology*, 25, Artículo 42. <https://doi.org/10.1186/s12874-025-02150-x>
- Servicio Nacional de Contratación Pública [SERCOP]. (2026). Informe de control interinstitucional y suspensiones en el Catálogo Electrónico de Medicamentos. SNCP.
- U.S. Food and Drug Administration. (2020). *Drug shortages: Root causes and potential solutions* (versión actualizada). <https://www.fda.gov/media/131130/download>
- U.S. Food and Drug Administration. (2026). *Quality Management Maturity (QMM) prototype assessment protocol: Year 3 implementation report*. <https://www.fda.gov/drugs/pharmaceutical-quality/qmm-protocol-2026>
- Villa-Feijoó, A. L. (2022). Estrategias de promoción de la salud y prevención de enfermedades desde la perspectiva de la enfermería en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 1(3), 1–14. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n3/29>
- Vinces Escobar, O. M., Romero Condo, N. S., & Guillen Godoy, M. A. (2026). Automedicación con Ampibex: Un problema de salud pública en el norte del Ecuador. *Salud Medicina e Innovación Journal*, 4(2), 132–154. <https://doi.org/10.70577/b1detf16>
- Wang, C., & Chen, J. (2024). Deep learning frameworks for supply chain bottleneck forecasting in clinical settings. *Expert Systems with Applications*, 240, Artículo 122500. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.122500>
- West, R., Zhang, L., & Liu, P. (2020). Natural language processing and predictive analytics for public health inventory systems. *Decision Support Systems*, 138, Artículo 113390. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2020.113390>
- Yacelga-Gómez, J. J., Valenzuela-Madera, A. J., Chicaiza-Montero, J. F., Medina-León, J. A., & Cargua-Usca, A. M. (2025). Automedicación con antibióticos en Ecuador y Latinoamérica: Magnitud, determinantes y propuestas de intervención. *Revista Científica Ciencia y Método*, 3(4), 14–23. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n4/94>